مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(4) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (4) 2022

تصميم مصفوفة هوائيات تعمل عند ثلاثة ترددات لأنظمة اتصالات الجيل الخامس 5G

د. محمد نصر *
م. لميس حسن **

(تاريخ الإيداع 4/6 /2022 . قُبِل للنشر في 2022/6/13)

□ ملخّص□

يعد نطاق الموجات المليمترية (mmW) لاتصالات 5G مجالاً مبتكراً للبحث، يسمح بالاتصال بسرعة فائقة مع زمن تأخير منخفض. تُعتبر هوائيات الرقعة الشرائحية ذات أهمية كبيرة للاتصالات اللاسلكية 5G نظراً لطبيعتها المدمجة وسلوكها متعدد النطاقات. في هذا البحث تم تقديم مصفوفة هوائيات مستوية ثلاثية النطاق لتطبيقات الجيل الخامس، ويشتمل العنصر الفردي للمصفوفة على رقعة مستطيلة الشكل فيها فتحة بشكل إشارة (+) وأربع زوايا مقطوعة مربعة الشكل مصمم على ركيزة من النوع Rogers RT Duroid 5880 وقد تم تغذيته باستخدام تقنية التغذية الداخلية، وهو أحادي النطاق يعمل عند التردد 31.6 GHz ويغطي عرض نطاق ترددي قدره 2.9 GHz وقد حقق كسب يساوي 7.38 dB، أما المصفوفة فهي مؤلفة من أربعة هوائيات تعمل عند الترددات 28.6 GHz/ 36.8 GHz/ 40.1 GHz ويظهر عرض نطاق الممانعة الناتج خصائصها الثلاثية من خلال تغطية نطاقات التردد 2.078 (27.925–30.003 GHZ)، GHz (36.37–37.479 GHZ) 1.109 GHz، (39.623– 1.123 GHz (40.747 GHz ، كما تتمتع المصفوفة بكسب قدره 11.3dB، 12.7dB، 8.58dB عند ترددات التشغيل على التوالي، وبهدف تحسين خسارة الانعكاس وعرض النطاق الترددي للمصفوفة المقترحة تم استخدام تقنية البنية الأرضية المعيبة (DGS). و باستخدام برنامج CST تم تصميم مصفوفة الهوائيات المقترحة.

الكلمات المفتاحية: عرض النطاق الترددي، الربح، مصفوفة هوائيات، معامل الانعكاس، اتصالات الجيل الخامس.

* مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات – كليّة هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات – جامعة طرطوس– سوريا
** مهندسة _ كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات _ جامعة طرطوس_ طرطوس_ سوريا.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(4) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (4) 2022

Design of Tri-Band Antenna Array for 5G Communication Systems

Dr.Mohammad Nassr *
Eng.Lames Hasan **

(Received 6 /4 / 2022 . Accepted 13/6 / 2022)

□ ABSTRACT □

Millimeter-wave (mmW) range for 5G communication is an innovative field of research that allows communication at ultra-high speed with low latency. Patch antennas, due to their compact nature and multiband behavior, are of great interest for 5G wireless communication. In this paper, a three-band planar antenna array has been presented for fifth generation applications. The single element of the array includes a rectangular patch with a slot in the shape of a sign (+) and four square cut corners designed on a Rogers RT Duroid 5880 substrate and fed using inset feeding technique. It is a single band antenna which operates at 31.6 GHz and covers a frequency band of 2.9 GHz and has achieved a gain equal to 7.38dB. The array is composed of four antennas operating at frequencies 28.6GHz/36.8GHz/40.1GHz and resulting impedance bandwidth confirms its triple characteristics by covering the frequency bands 2.078 GHz (27.925-30.003 GHZ), 1.109 GHz (36.37-37.479 GHZ), 1.123 GHz (39.623- 40.747 GHz), and array has a gain of 11.3dB, 12.7dB, 8.58dB at operating frequencies respectively. In order to improve the return loss and bandwidth of the proposed array the defected ground structure (DGS) technique has been used. The antenna array has been designed and optimized using CST software.

Key Words: Gain, bandwidth, antenna array, S11 parameter, 5G communications.

*Teacher, Communication Technology Engineering Department, Information and communication Technology Engineering , Tartous University, Syria .

** Engineer_ Faculty of Information and Communication Technology _ University of Tartous _ Tartous _ Syria.

1- مقدمة:

تعتمد التقنية الرئيسية المستخدمة في الاتصالات اللاسلكية على الهوائيات، فالهوائي هو العنصر الأهم في أي نظام اتصالات [1]، وتتميز معظم الهوائيات المدمجة في النظام اللاسلكي الحديث بخصائص وظيفية ثابتة[2]. ولدمج هوائي متعدد الوظائف، ينتج عن الجهاز بعض المشكلات مثل الحجم الكبير وعرض النطاق الضيق والدارة المعقدة وانخفاض الكفاءة، ولمعالجة هذا الأمر يُفضل تصميم هوائي مستوٍ وصغير ومرن وذكي وسهل التكامل. وتُعتبر الهوائيات متعددة النطاقات أفضل من الهوائيات أحادية النطاق لأنها تدعم تطبيقات متعددة. توفر الهوائيات المطبوعة الحل نظراً لقدرتها على العمل بأكثر من تردد وبالتالي تقليل عدد الهوائيات المطلوبة في جهاز معين، كما أنها تتميز بكونها خفيفة الوزن ومنخفضة التكلفة [3].

أدى الطلب على معدل نقل بيانات مرتفع وترددات عالية إلى تمهيد الطريق للبحث في نطاق الموجات المليمترية حيث يمكن استكشاف المزيد من عرض النطاق الترددي الكبير وبالتالي زيادة السعة [4]، وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن تكون هوائيات الموجات المليمترية صغيرة الحجم وتواجه العديد من التحديات مثل إدارة التداخل وإعادة الاستخدام المكاني [5]. وفي الآونة الأخيرة، أصبحت اتصالات الهاتف المحمول من الجيل الخامس (5G) تقنية رئيسية في مجال الاتصالات [6].

إن تصميم هوائي متعدد النطاقات بترددات الموجات المليمترية لتطبيقات 5G له تحديات إضافية حيث تكون بساطة الهياكل المراد دمجها مع الأجهزة اللاسلكية الحالية والمستقبلية والموثوقية والكفاءة من الاهتمامات الرئيسية لتحقيق كفاءة طيفية متزايدة إلى جانب تقليل التخامد متعدد المسارات. تعد متطلبات النطاق الترددي العريض لهوائيات 5G أمراً حيوياً للسماح بالتشغيل المتزامن لمختلف خدمات الاتصالات اللاسلكية. بالإضافة إلى عرض النطاق الترددي العالي، يلزم أيضاً ان يكون الكسب مرتفعاً للتغلب على التوهين والامتصاص في الغلاف الجوي عند ترددات الموجات المليمترية [7]. ويُعتبر مخطط إشعاع الحزمة الضيقة ذو الكسب العالي الذي نحصل عليه من خلال المصفوفات المكونة من العديد من عناصر الهوائي هو الأسلوب الأفضل للتعامل مع التوهين المرتفع عند طيف الموجات المليمترية[8] .

وقد تم اقتراح هوائيات مختلفة بأشكال فتحات مختلفة الشكل مثل الشكل E والشكل F والشكل V وشكل الشجرة الثنائية المستخدمة لتحقيق هوائيات متعددة النطاقات. وفي [9] تم تصميم هوائي مصفوفي خطي من أربعة عناصر يعمل عند الترددات 28GHz/38GHz، وتم تغذيته عبر مقسم طاقة ويلكنسون 1x4، وقد تم تحقيق كسب يساوي 11.9 dB عند 28GHz، و 11.2 dB عند 38GHz، وفي [10] تم اقتراح هوائي باستخدام بنية ركيزة متعددة الطبقات مؤلفة من 10 طبقات من سيراميك الألياف المشتركة منخفض الحرارة بسماكة 5 مللي لكل منها، وقد قدم هذا الترتيب كسباً قدره 8.63dB و8.62dB وعرض نطاق يبلغ 5.95 GHz و4.95GHz عند 28GHz و38GHz على التوالي، وفي [11] تم تصميم هوائي ثلاثي النطاق لاتصالات الجيل الخامس مع فتحة بشكل T وباستخدام تقنية المستوي الأرضي الجزئي وقد تم الحصول على قيم كسب تساوي 5.67dB عند 10GHz، و 9.33dB عند 28GHz، و 9.57dB عند 38GHz، وتم استخدام الركيزة Rogers RT Duroid 5880 في عملية التصميم.

2- هدف البحث:

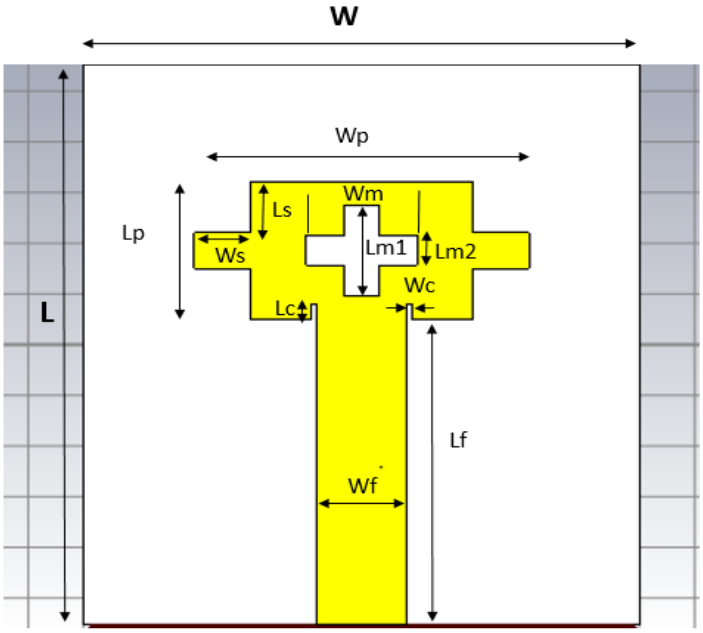
يهدف البحث إلى تصميم ومحاكاة مصفوفة هوائيات ثلاثية النطاق على تردد موجات المليمتر لأنظمة اتصالات 5G.

3- مواد وطرق البحث:

يبدأ هذا البحث بتصميم هوائي مفرد تم الاعتماد عليه في تصميم مصفوفة هوائيات تعمل عند ثلاثة ترددات وتحقق خصائص الجيل الخامس من الاتصالات، وتم الاعتماد في عملية المحاكاة على برنامج CST Microwave Studio (CST MWS) وهو برنامج متخصص بتصميم وتحليل الأنظمة والمكونات الكهرومغناطيسية عالية التردد بشكل ثلاثي الأبعاد، حيث يسمح بالتحليل السريع والدقيق للأجهزة عالية التردد مثل المرشحات والهوائيات والهياكل أحادية ومتعددة الطبقات، ويقدم برنامج CST MWS أداء جيد، مما يجعله الخيار الأول في أقسام البحث والتطوير الرائدة في مجال التكنولوجيا، فهو برنامج سهل الاستخدام ويوفر للمستخدم نظرة ثاقبة لسلوك تصاميم المكونات الكهرومغناطيسية عالية التردد.

3-1 تصميم الهوائي:

في البداية، تم تصميم عنصر هوائي مشع بسيط مستطيل الشكل من النحاس أعلى طبقة الركيزة للعمل بتردد واحد، وأبعاد الرقعة المستطيلة هي Wp=6mm و Lp= 2.5mm مع زوايا مربعة الشكل مقطوعة بمساحة 1x1 mm2 لكل زاوية كما يبين الشكل (1)، وقد تم استخدام الركيزة Rogers RT Duroid 5880 نظراً لأنها الأفضل بالنسبة للموجات المليمترية [12] كما أنها تمتلك ثابت عزل منخفض (ε_r=2.2) وخسارة منخفضة أيضاً (tan δ = 0.0009) حيث تمثل الخسارة لطبقة الأساس الضياعات المرتبطة بالمادة العازلة، وبالنسبة لارتفاع الركيزة Hs=0.79mm، كما تم إحداث فتحة بشكل إشارة (+) في الرقعة المشعة بهدف زيادة عرض النطاق الترددي، وتم استخدام تقنية التغذية الداخلية لتحقيق مطابقة جيدة للممانعة بين خط التغذية والرقعة[12].



الشكل (1): هوائي الرقعة الشرائحي المفرد المقترح

جدول (1): أبعاد الهوائي المقترح

parameter	Value(mm)	parameter	Value(mm)
W	10	Ws	1
L	11	Ls	1
Wp	6	Wc	0.1
Lp	2.5	Lc	0.3
Wm	2.1	Wf	1.5
Lm1	2	Lf	6
Lm2	0.5		

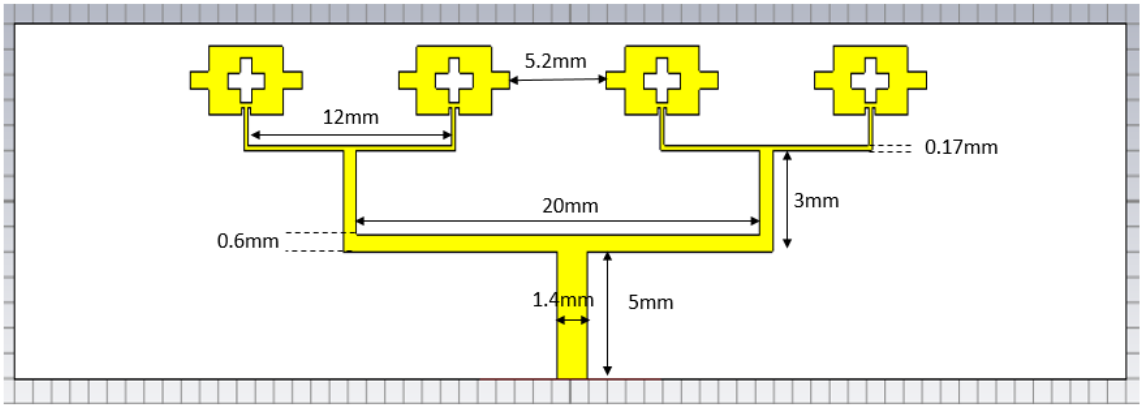
يوضح الشكل (1) هوائي الرقعة الشرائحي المصمم باستخدام تقنية التغذية الداخلية، ونلاحظ بأن الهوائي المقترح له حجم صغير وتكلفة إنتاج منخفضة وتصميم بسيط إضافة إلى أنه قوي عند تركيبه على سطح صلب، ويتمتع بكسب عالي كما هو موضح في نتائج المحاكاة للتغلب على خسارة المسار العالية عند ترددات الأمواج المليمترية، كما يتمتع بعرض نطاق ترددي واسع، وبالتالي فإن هذا الهوائي يلبي متطلبات نظام الاتصالات للجيل الخامس.

3-2 تصميم مصفوفة الهوائيات:

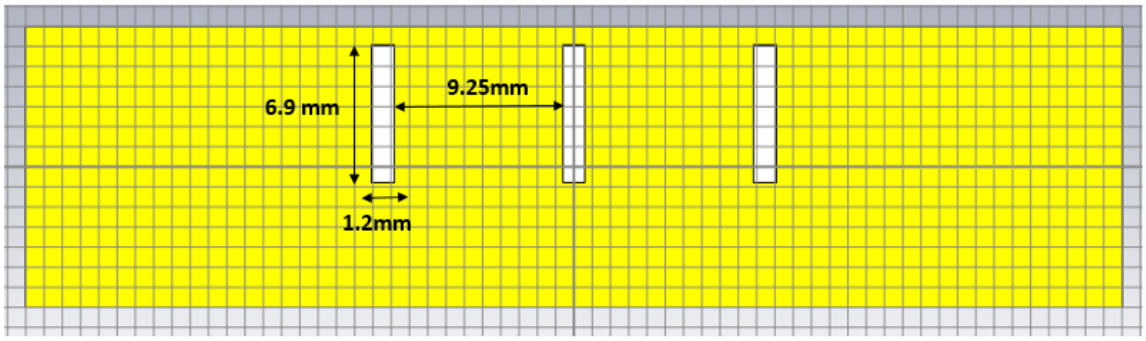
تم استخدام تقنية التغذية المتوازية (المشتركة) لتصميم الشبكة التي تربط الهوائيات بمنفذ الإدخال، حيث تم تغذية جميع العناصر بالتوازي من مصدر واحد، وتتكون هذه الشبكة بشكل أساسي من شبكة متفرعة من مقسمات القدرة ثنائية الاتجاه، والمزايا الرئيسية للتغذية المتوازية هي أنه يتم تقسيم القدرة بالتساوي عند كل تقاطع (junction)، ويكون موضع الحزمة مستقلاً عن التردد بشرط أن تكون المسافات من منفذ الإدخال إلى كل عنصر مشع متطابقة، وأخيراً فإنها تعد تغذية عريضة النطاق. وعادةً تكون جميع العناصر المشعة متطابقة تماماً مع خطوط التغذية بطريقة مناسبة مثل محول ربع طول الموجة، كما أن مصفوفة التغذية المتوازية سهلة التطبيق نسبياً والتي فيها يمكن تحديد كل من المطال والطور لكل عنصر بشكل مستقل.

أما بالنسبة لترتيب العناصر فقد تم ترتيبها بشكل خطي وهو ترتيب يسمح بوضع عناصر الهوائيات المختلفة في سطر واحد من طرف إلى آخر، وهذا يعني أن العناصر المختلفة تكون مرتبة خلف بعضها في سطر واحد، ويمكن أن يكون هذا الترتيب إما رأسياً أو أفقياً، هنا أيضاً يتم توفير الإثارة بتيارات لها نفس المطال والطور لجميع العناصر، يوفر هذا الترتيب قيمة جيدة للكسب (الربح)، ويظهر الشكل (2) تصميم مصفوفة الهوائيات المقترحة.

كما تم استخدام تقنية البنية الأرضية المعيبة ((Defected Ground Structure (DGS) والتي يمكن تعريفها بشكل مفصل أكثر على أنها شكل شعري محفور في المستوي الأرضي للدارات المستوية مثل مصفوفات الهوائيات الشرائحية، وتُستخدم من أجل تحسين عرض النطاق الترددي عند تردد التشغيل ولتحسين خسارة الانعكاس من أجل مطابقة الممانعة بشكل أفضل، حيث أن هذا الخلل يعيق توزيع التيار في المستوي الأرضي، ويغير خصائص خط النقل مثل السعة الفعالة والتحريض، ويظهر الشكل (3) صورة خلفية لمصفوفة الهوائيات المقترحة مع تقنية DGS.



الشكل (2): تصميم مصفوفة الهوائيات المقترحة



الشكل (3): صورة خلفية لمصفوفة الهوائيات المقترحة مع تقنية DGS

4- النتائج والمناقشة:

تم إجراء محاكاة هوائي الرقعة والمصفوفة 1x4 في برنامج المحاكاة الكهرومغناطيسية CST MWS حيث تم الحصول على البارامترات وتقييم سلوك كلا التصميمين.

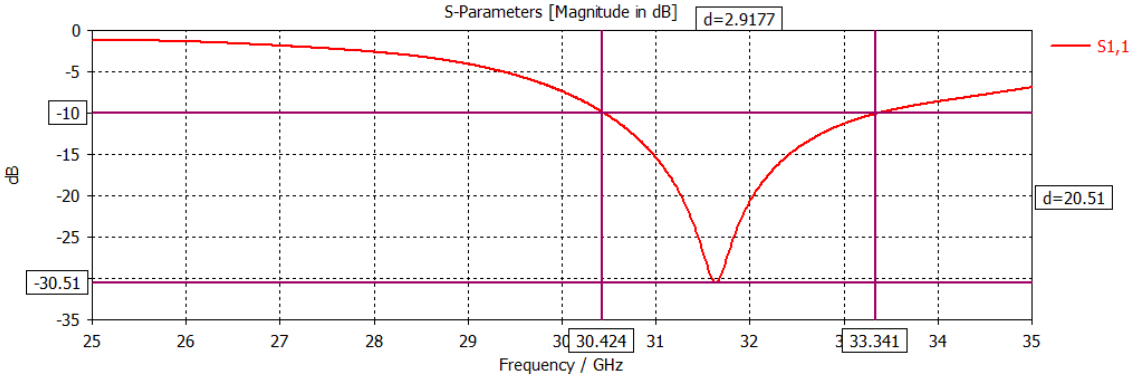
4-1 نتائج محاكاة الهوائي المفرد:

يوضح الشكل(1) تصميم الهوائي المقترح، وتظهر نتائج المحاكاة أدناه:

a) خسارة العودة (معامل الانعكاس) (S11 parameter) return loss:

خسارة العودة هي نسبة القدرة المنعكسة إلى القدرة الواردة لهوائي وتُقدر بالديسبل (dB)، ويمثل S11 خسارة عودة الهوائي. ولكي يعمل الهوائي بطريقة فعالة يجب أن يكون (S11< −10 dB).

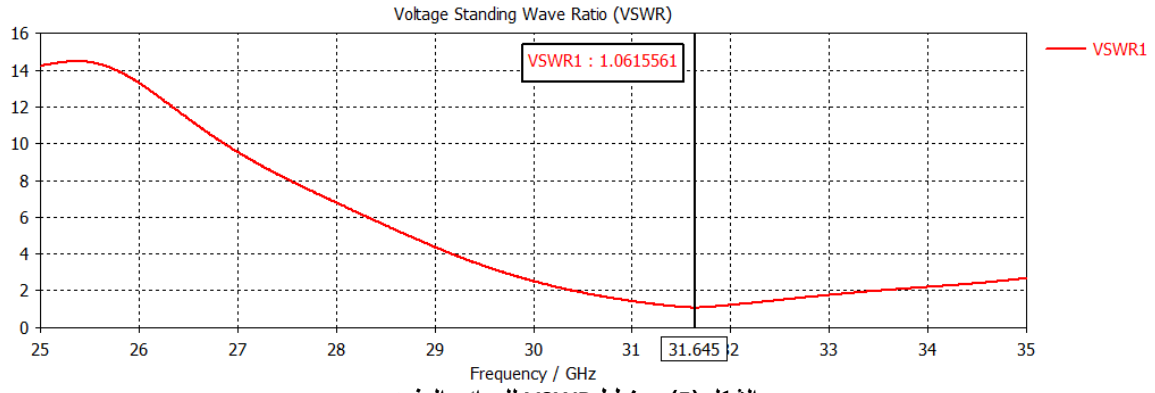
ويبين الشكل (4) بأن إشعاع الهوائي يكون الأفضل عند 31.6 GHz حيث تكون قيمة S11 = − 30.5dB، كما يمكن أيضاً حساب عرض النطاق الترددي من الشكل (4) حيث يُعرف بأنه نطاق التردد عندما S11<−10dB [13] وبالتالي فإن عرض النطاق الترددي سيكون تقريباً مساوياً إلى 2.9 GHz



الشكل (4): معامل الانعكاس وعرض النطاق الترددي للهوائي المفرد

b) نسبة الموجة الدائمة للجهد VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

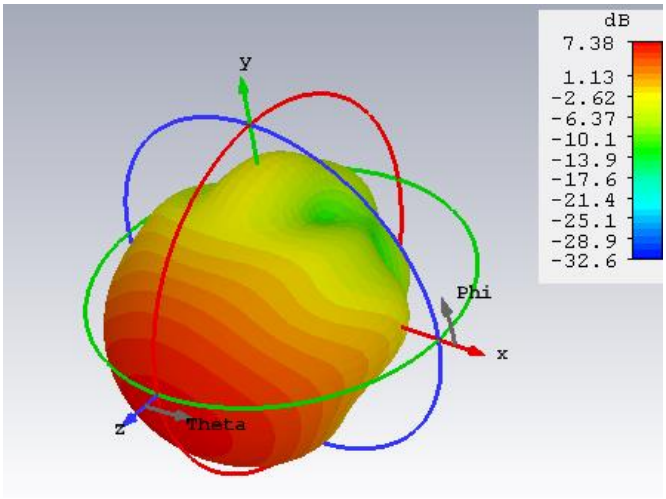
تعد مطابقة الممانعة للهوائي وخط النقل عاملاً رئيسياً في تقييم أداء الهوائي. ويحدد البارامتر VSWR مدى مطابقة ممانعة الهوائي مع خط النقل من خلال أخذ نسبة الحد الأقصى والحد الأدنى من موجة الجهد المنعكسة. وتعد قيمة VSWR ≤ 2 مقبولة. يحتوي الهوائي المقترح في هذا العمل على قيمة VSWR تبلغ 1.06 عند تردد الرنين (التشغيل) 31.6 GHz كما هو موضح في الشكل (5).



الشكل (5): مخطط VSWR للهوائي المفرد

c) مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد 3D Gain Plot:

يمثل الشكل (6) مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد، ونلاحظ من الشكل أنه تم تحقيق ربح قدره 7.38 dB وهي تعد قيمة جيدة لهوائي رقعة صغير الحجم.



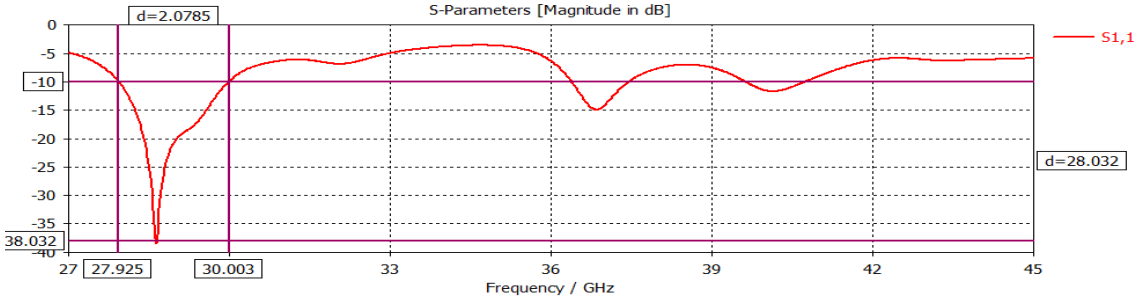
الشكل(6): مخطط الإشعاع ثلاثي الأبعاد 3D للهوائي المفرد

4-2 نتائج محاكاة مصفوفة الهوائيات:

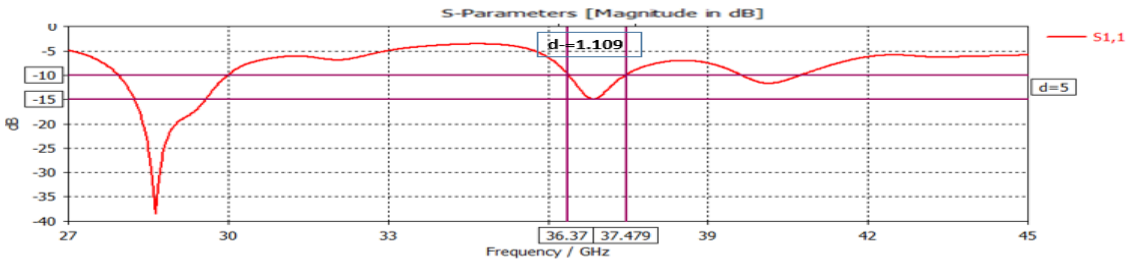
a) خسارة العودة (معامل الانعكاس) (S11 parameter) return loss:

تغطي مصفوفة الهوائيات المقترحة عرض نطاق ترددي (27.925-30.003 GHz) 2.078 GHz، (GHZ

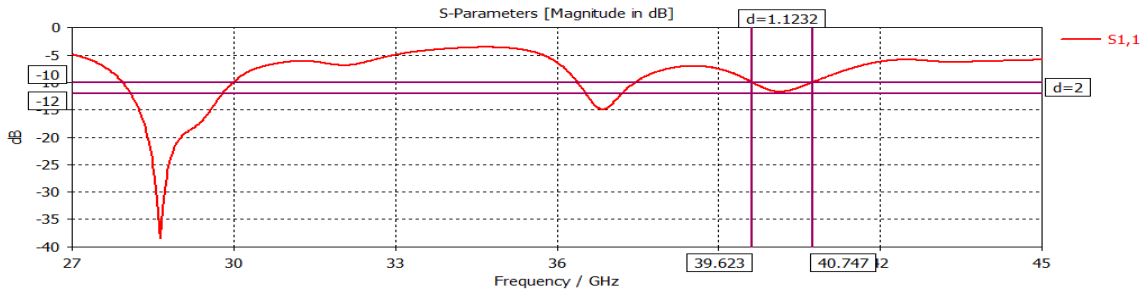
(36.37-37.479 GHZ) 1.109 GHz، (39.623- 40.747 GHz) 1.123 GHz مما يتيح سرعة في نقل البيانات العالية وذلك عند ذروة ترددات الرنين عند 28.6 GHz، 36.8 GHz، 40.1 GHz مع قيم خسارة العودة S11 (معاملات الانعكاس) dB -38، dB -15، dB -12 على التوالي، وتوضح الأشكال 7(a)، 7(b)، 7(c) هذه الحالات.



(a)



(b)

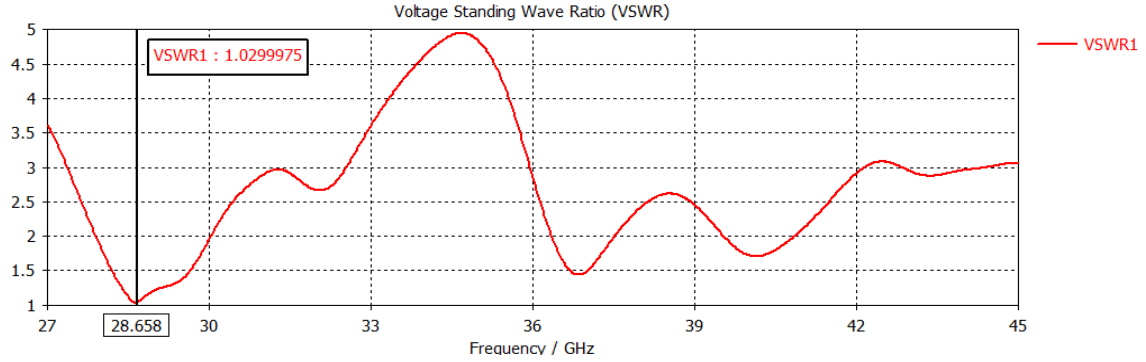


(c)

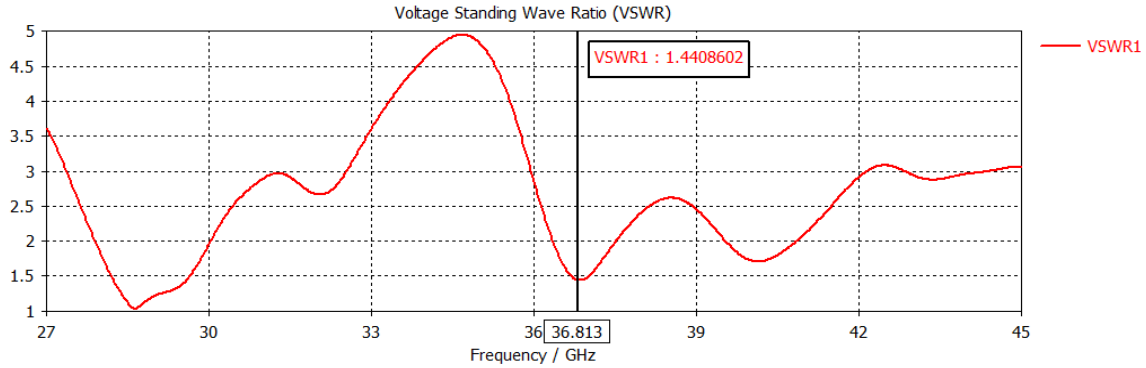
الشكل (7): مخططات معاملات الانعكاس وقيم عرض النطاق لمصفوفة الهوائيات عند الترددات (a):28.6GHz، (b):36.8GHz ، 40.1GHz:(c)

b) نسبة الموجة الدائمة للجهد VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

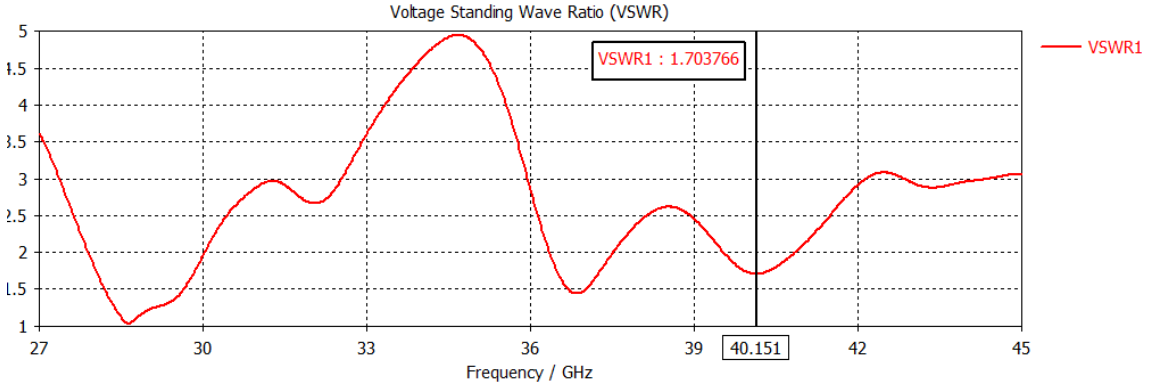
تمت محاكاة VSWR كتابع للتردد لمصفوفة الهوائيات المقترحة وكانت VSWR < 2 في نتائج المحاكاة عند ترددات الرنين كما هو موضح في الشكل (8). وبالتالي يمكن استنتاج أن مصفوفة الهوائيات المصممة يمكن استخدامها بشكل ملائم لنطاقات التردد الثلاثة حيث يعد VSWR في الأساس مقياساً لعدم تطابق الممانعة بين الهوائي ونظام التغذية، أي أنه كلما كانت قيمة VSWR أكبر، كان عدم التطابق أعلى.



(a)



(b)

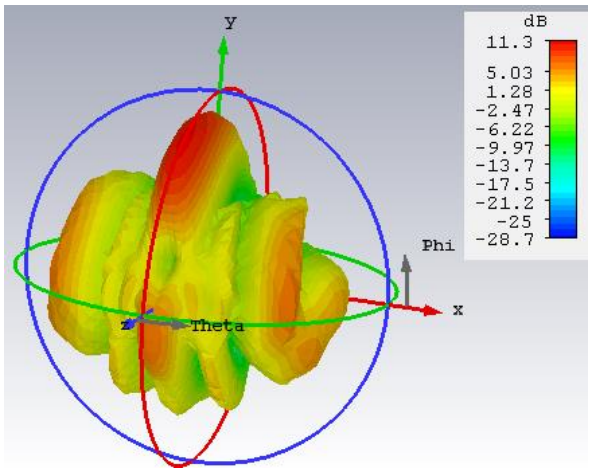


(c)

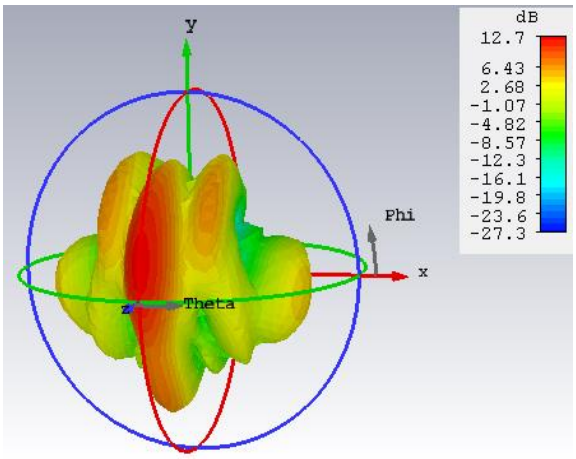
الشكل (8): قيم VSWR لمصفوفة الهوائيات عند الترددات (a):28.6GHz، (b):36.8GHz ، (c):40.1GHz

c) مخططات الإشعاع ثلاثية الأبعاد 3D Gain Plots:

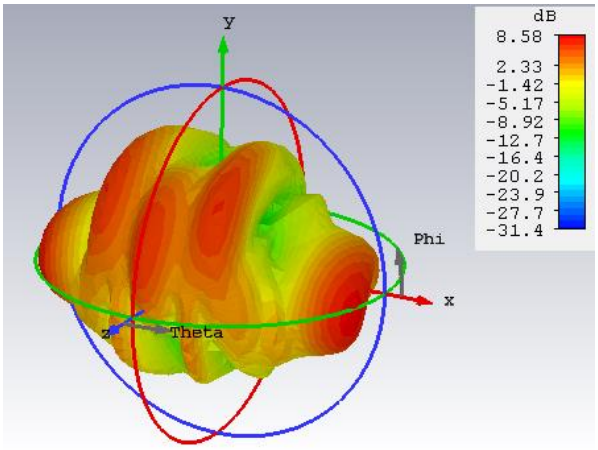
أقصى قيمة للكسب تبلغ 11.3 dB عند 28.6 GHz و12.7 dB عند 36.8 GHz و8.58 dB عند 40.1GHz كما هو مبين في الشكل(9) ، وتلبي هذه النتائج متطلبات الجيل الخامس من الاتصالات لأنها ستسمح بالتغلب على العقبات التي تفرضها موجات الانتشار في نطاقات المليمتر.



(a)



(b)



(c)

الشكل (9): مخططات الإشعاع ثلاثية الأبعاد 3D لمصفوفة الهوائيات عند الترددات (a):28.6GHz، (b):36.8GHz ، (c):40.1GHz

5-الاستنتاجات والتوصيات:

- وجد في المصفوفة المقترحة أنه عند تردد التشغيل 28.6GHz، يكون عرض النطاق الترددي 2.078GHz، وخسارة الانعكاس 38dB-، وقيمة الربح 11.3dB
- وجد في المصفوفة المقترحة أنه عند تردد التشغيل 36.8GHz، يكون عرض النطاق الترددي 1.109GHz، وخسارة الانعكاس 15dB-، وقيمة الربح 12.7dB
- وجد في المصفوفة المقترحة أنه عند تردد التشغيل 40.1GHz، يكون عرض النطاق الترددي 1.123GHz، وخسارة الانعكاس 12dB-، وقيمة الربح 8.58dB
- تسمح مطابقة ممانعة الدخل متعددة النطاقات لهوائيات الجيل الخامس بالعمل في نطاقات تردد منفصلة ذات أهمية، مما يجعل الجهاز بأكمله أكثر اقتصادية وأقل كثافة.
- إنشاء فتحات (slots) في الهوائي الشرائحي المطبوع يؤثر على أداء بارامترات الهوائي المختلفة وخاصة عرض النطاق الترددي حيث أن الفتحات تعمل على زيادة عرض النطاق.
- استخدام تقنية ال (Defected Ground Structure) DGS في مصفوفات الهوائيات يعطي نطاقاً ترددياً أوسع مع الحفاظ على ربح مرتفع ومطابقة أفضل للممانعة، وهذه الإنجازات مناسبة لتلبية متطلبات شبكات الجيل الخامس.
- إنشاء فتحات بأشكال مختلفة ودراسة أداء الهوائي من أجل تقنيات تغذية أخرى ودراسة مدى تأثيرها على أداء الهوائي.

6- المراجع:

[1] أحمد، ع؛ محمد، ن؛ محمد، م، "ضمان استمرارية الخدمة في شبكات الاتصالات اللاسلكية المنظمة ذاتياً". مجلة جامعة طرطوس، 2018.

[2] Al-Falahy N, Omar YK, "Millimetre wave frequency band as a candidate spectrum for 5G network architecture" ,Phys Commun 32:120–144, 2019.

[3] A. Ghaffar, X. J. Li, and B.-C. Seet, "Compact Dual-Band Broadband Microstrip Antenna at 2.4 GHz and 5.2 GHz for WLAN Applications," in 2018 IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), pp. 198-199, 2018

[4] Menna El Shorbagy, Raed M Shubair, Mohamed I AlHajri, Nazih Khaddaj Mallat, "On the Design of Millimetre-Wave Antennas for 5G," in IEEE Microwave Symposium(MMS), 2016 16th Mediterranean, pp.1-4, Jan 2017

[5] غصنة، ف؛ علي، ل؛ إسماعيل، ل، "التكامل بين شبكات الجيل الخامس وشبكات IOT (إنترنت الأشياء) إمكانية التحقيق وجودة الأداء"، مجلة جامعة طرطوس، 2019.

[6] Fatimah Al-Ogaili and Raed M.Shubair, "Millimeter-Wave Mobile Communications for 5G: Challenges and Oppurtunities," Antennas and Propagation(APSURSI), 2016 IEEE International Symposium, pp.10031004, Oct. 2016.

[7] I. Shayea, T. Rahman, M. H. Azmi and Md. R. Islam, "Real Measurement Study for Rain Rate and Rain Attenuation Conducted Over 26 GHz Microwave 5G Link System in Malaysia, " IEEE Access, vol. 6, pp. 19044 -19064, Mar. 2018.

[8] S. Zhu, H. Liu and P. Wen, "A Compact Gain-Enhanced Vivaldi Antenna Array with Suppressed Mutual Coupling for 5G mmWave Application," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 17 ,pp. 776-779, May. 2018.

[9] N. Ashraf, O. Haraz, M. A. Ashraf, S. Alshebeili, "28/38-GHz dual-band millimeter wave SIW array antenna with EBG structures for 5G applications," in International Conference on Information and Communication Technology Research (ICTRC), pp. 5–8, 2015.

[10] M. K. M. Amin, M. F. Mansor, N. Misran, and M. T. Islam, "28/ 38GHz dual band slotted patch antenna with proximitycoupled feed for 5G communication," in Int. Symp. Antennas Propag. (ISAB), Phuket, Thailand, Thailand, 30 Oct-2 Nov, 2017.

[11] M L S N S Lakshmi1, Habibulla Khan, M Venkateswara Rao, G L Madhumati, "Triple Notch Reconfigurable Parasitic Monopole Patch Antenna with Defected Ground Structures," International Journal of Microwave and Optical Technology, VOL.15, NO.4, pp 318-324, July 2020.

[12] A. Abdelaziz and E. Hamad, "Design of a Compact High Gain Microstrip Patch Antenna for Tri-Band 5G Wireless Communication", pp. 45-52, September 2018.

[13] M. Kavitha, T. Kumar, A. Gayathri and V. Koushick, ″28 GHz Printed Antenna for 5G Communication with Improved Gain Using Array*″, International Journal of Scientific & Technology Research Volume,* pp. 5127-5133, , March 2020.